

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. September 2003 (18.09.2003)

PCT

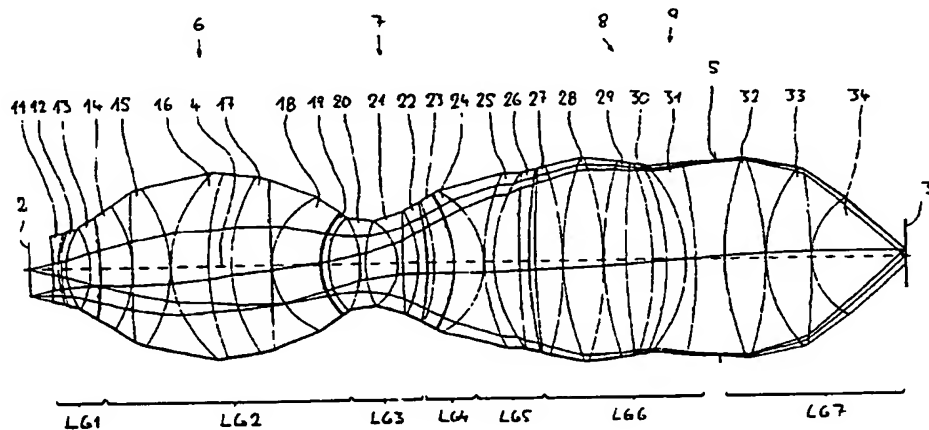
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/077036 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: G03F 7/20 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHUSTER, Karl-Heinz [DE/DE]; Rechbergweg 24, 89551 Königsbronn (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/04846
- (22) Internationales Anmeldedatum: 3. Mai 2002 (03.05.2002) (74) Anwalt: MUSCHIK, Thomas; Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner, Kronenstrasse 30, 70174 Stuttgart (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 10 899.4 8. März 2002 (08.03.2002) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CARL ZEISS SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HIGH-APERTURE PROJECTION LENS

(54) Bezeichnung: PROJEKTIONSOBJEKTIV HÖCHSTER APERTUR



(57) Abstract: The invention relates to a purely refractive high aperture projection lens comprising a plurality of optical elements and a system shutter (5) arranged at a distance from the image plane (3) of the projection lens is a plane-convex lens (34) having an incident surface which is essentially spherical and an exit surface which is essentially even. The size of the diameter of the plane-convex lens is at least 50 % of the size of the shutter diameter of the system shutter (5). Preferably, only positive lenses (32, 33, 34) are arranged between the system shutter (5) and the image plane (3). Said optical system enables high-aperture imaging at $NA \geq 0.85$, optionally at $NA \geq 1$.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/077036 A1



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Ein höchstaperturiges, rein refraktives Projektionsobjektiv mit einer Vielzahl optischer Elemente hat eine mit Abstand vor der Bildebene angeordnete Systemblende (5). Das der Bildebene (3) des Projektionsobjektivs nächste optische Element ist eine Plankonvexlinse (34) mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im wesentlichen ebenen Austrittsfläche. Die Plankonvexlinse hat einen Durchmesser, der mindestens 50% des Blendendurchmessers der Systemblende (5) beträgt. Vorzugsweise sind zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) nur Positivlinsen (32, 33, 34) angeordnet. Das optische System erlaubt Abbildungen bei höchsten Aperturen $NA \geq 0,85$, gegebenenfalls bei $NA \geq 1$.

Beschreibung

Projektionsobjektiv höchster Apertur

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in die Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht
10 einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge.

Photolithographische Projektionsobjektive werden seit mehreren Jahrzehnten zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen verwendet. Sie dienen dazu, Muster von
15 Photomasken oder Strichplatten, die nachfolgend auch als Masken oder Retikel bezeichnet werden, auf einen mit einer lichtempfindlichen Schicht beschichteten Gegenstand mit höchster Auflösung in verkleinerndem Maßstab zu projizieren.

20 Zur Erzeugung immer feinerer Strukturen in der Größenordnung 100nm oder darunter tragen vor allem drei parallel verlaufende Entwicklungen bei. Erstens wird versucht, die bildseitige numerische Apertur (NA) des Projektionsobjektivs über die derzeit erzielbare Werte hinaus in den Bereich von $NA = 0,8$ oder darüber zu vergrößern. Zweitens werden
25 immer kürzere Arbeitswellenlängen von Ultraviolettlicht verwendet, vorzugsweise Wellenlängen von weniger als 260nm, beispielsweise 248nm, 193nm, 157nm oder darunter. Schließlich werden noch andere Maßnahmen zur Auflösungsvergrößerung genutzt, beispielsweise phasenschiebende Masken und/oder schräge Beleuchtung.
30 Insbesondere die Verwendung phasenschiebender Masken erfordert obskurationsfreie Systeme, d.h. Systeme ohne Abschattungen im Bildfeld. Systeme ohne Abschattungen im Bildfeld sind in der

- 2 -

Mikrolithographie generell zu bevorzugen, auch wenn Systeme mit Obskuration mit ansonsten hervorragenden optischen Eigenschaften verfügbar sind (z.B. DE 196 39 586 entsprechend US 6,169,627 B1).

- 5 Bei Erhöhung der Apertur deutlich über $NA = 0,85$ werden Grenzen bei der Winkelbelastbarkeit vor allem der bildnahen Linsen erreicht. Größere Aperturen nahe $NA = 1$ oder darüber werden als unpraktikabel angesehen, da davon ausgegangen werden muss, dass sich bei derart hohen Aperturen Rand- und Komastrahlen aufgrund von Totalreflexion
10 weder aus einem Objektiv auskoppeln noch in die lichtempfindliche Schicht des Substrat einkoppeln lassen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Projektionsobjektiv zu schaffen, welches eine sehr hohe bildseitige numerische Apertur, ein für
15 den praktischen Einsatz in Wafersteppern oder Waferscannern ausreichend großes Bildfeld sowie einen guten Korrektionszustand aufweist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Projektionsobjektiv mit den
20 Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung hat ein Projektionsobjektiv zur
25 Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in die Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind, sowie eine mit Abstand vor der Bildebene angeordnete
30 Systemblende mit einem Blendendurchmesser. Die der Bildebene nächste optische Gruppe mit Brechkraft ist eine Plankonvexgruppe mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im

wesentlichen ebenen Austrittsfläche. Die Austrittsfläche ist die letzte optische Fläche des Systems und soll in der Nähe eines zu belichtenden Substrates, jedoch ohne Berührungskontakt zu diesem, angeordnet werden. Gegebenenfalls kann über ein Immersionsmedium, z.B. eine Flüssigkeit, ein optischer Kontakt vermittelt werden. Die Plankonvexgruppe hat einen Durchmesser, der mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt. Vorzugsweise kann der Durchmesser der Plankonvexgruppe sogar mehr als 60% oder mehr als 70% des Blendendurchmessers betragen.

10

Die Systemblende im Sinne dieser Anmeldung ist der Bereich nahe der Bildebene, in dem der Hauptstrahl der Abbildung die optische Achse schneidet. Eine Blende zur Begrenzung und gegebenenfalls Verstellung der genutzten Apertur kann im Bereich der Systemblende angeordnet sein. Bei Systemen mit mindestens einem Zwischenbild existiert mindestens eine weitere Blendenebene mit größerem Abstand von der Bildebene.

Durch die oben genannten Maßnahmen ist es möglich, höchste bildseitige numerische Aperturen $NA \geq 0,85$ zu realisieren, wobei die numerische Apertur sogar $NA = 1$ oder mehr betragen kann, beispielsweise $NA = 1,1$. Damit sind bei konventionell gut beherrschbaren Arbeitswellenlängen, beispielsweise bei 193nm, Strukturbreiten in der Größenordnung von 50nm gut abzubilden. Hohe Aperturen, insbesondere im Bereich von $NA = 1$ oder darüber, erfordern spezielle Maßnahmen, um die Flächenbelastung der optischen Flächen insgesamt und insbesondere die Flächenbelastung im Bereich zwischen der Systemblende und der Bildebene zu beherrschen. In diesem Bereich dürfen keine zu hohen bauteilbezogenen Aperturen entstehen, da bei sehr schrägem Lichteinfall ein Großteil des auftreffenden Lichtes nicht mehr durch die transparenten optischen Elemente gelangen und somit nicht mehr zur Bildentstehung beitragen kann. Wird als bildnächste

25
30

brechende Gruppe eine Plankonvexgruppe verwendet, die axial so dick ist, dass deren Durchmesser mehr als die Hälfte des Blendendurchmessers erreicht, so hat die stark gewölbte Eintrittsfläche im Vergleich zu herkömmlichen Linsen eine ungewöhnlich große Dimension. Bei hoher Öffnung der Linsenfläche ist ein langer Radius der Eintrittsfläche anzustreben, da damit die Feldbelastung abnimmt. Je länger der Radius der letzten Eintrittsfläche vor der Bildebene ist, desto kleiner ist das relative Feld und desto kleiner sind damit auch die induzierten Feldaberrationen. Damit wird es möglich, vor der Plankonvexlinse auf geeignete Weise erzeugte hohe Strahlaperturen aberrationsarm und bei vertretbaren Lichtverlusten bis zum Wirkort in der Bildebene zu übertragen.

Die Plankonvexgruppe wird bei einer bevorzugten Weiterbildung durch eine einzelne, einstückige Plankonvexlinse gebildet. Es ist auch möglich, die Plankonvexgruppe in Form einer geteilten Plankonvexlinse auszuführen, deren Teile bevorzugt aneinander angesprengt sind. Die Teilung kann entlang einer ebenen oder gekrümmten Teilungsfläche erfolgen. Eine Teilung ermöglicht es insbesondere, den bildfeldnahen Teil der Plankonvexgruppe, in welchem besonders hohe Strahlungsenergiedichten auftreten, aus einem besonders strahlungsresistenten Material herzustellen, beispielsweise als Kalziumfluorid, während weniger strahlungsbelastete Bereiche aus einem anderen Material, beispielsweise synthetischem Quarzglas, hergestellt sein können. Als bildnächstes Element der Plankonvexgruppe kann gegebenenfalls eine planparallele Abschlussplatte vorgesehen sein. Diese ist vorzugsweise an das vorhergehenden optische Element angesprengt. In engen Grenzen ist es auch möglich, die Plankonvexgruppe in gesonderte Linsenelemente aufzuspalten, zwischen denen mindestens bereichsweise ein geringer Luftabstand bestehen kann, der jedoch deutlich unterhalb eines Millimeters liegen sollte. Die Radien zum Luftspalt sollten so gekrümmt

- 5 -

sein, dass keine Totalreflexion stattfindet. Vorzugsweise bleibt die Winkelbelastung dabei je nach Winkelbelastbarkeit der dünnen Entspiegelungsschicht kleiner als $\sin u'$ von 0,85 bis 0,95.

- 5 Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist es besonders günstig, wenn zwischen der Systemblende und der Bildebene nur Linsen mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls zuzüglich einer oder mehrerer planparalleler, transparenter Platten. Beispielsweise kann
10 zwischen der Systemblende und der Plankonvexgruppe mindestens eine bikonvexe Positivlinse angeordnet sein. Günstiger sind mindestens zwei, insbesondere genau zwei bikonvexe Positivlinsen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind einem plankonvexen Meniskus zwei Positivlinsen vorangestellt, die den wesentlichen Anteil der Systembrechkraft bereitstellen. Dadurch, dass diese dicht an der
15 Systemblende sitzen und im großen Durchmesser arbeiten können, ist auch hier eine sehr kleine relative Feldbelastung erzielbar. Dies ergibt eine sehr einfache und effiziente Auslegung eines Projektionsobjektivs bezüglich des Bereichs hinter der Systemblende. Günstig ist es demnach, wenn die zwischen Systemblende und Bildebene
20 angeordnete letzte Linsengruppe maximal vier brechkraftbehaftete optische Elemente aufweist, idealerweise nur drei Linsen, die vorzugsweise jeweils Positivlinsen sind. Linsen mit negativer Brechkraft können vorgesehen sein, solange deren Brechkraft gering gegenüber der Gesamtbrechkraft der zwischen Systemblende und Bildebene
25 angeordneten Linsengruppe ist. Zusätzlich können planparallele Platten vorgesehen sein.

- Eine für eine hohe bildseitige numerische Apertur günstige Brechkraftverteilung zeichnet sich dadurch aus, dass die zwischen
30 Systemblende und Bildebene angeordnete letzte Linsengruppe vorteilhafterweise eine Brennweite hat, die weniger als 20% oder 17%, insbesondere weniger als 15% der Baulänge des Projektionsobjektivs

beträgt. Als Baulänge wird hier der axiale Abstand zwischen der Objektebene und der hierzu optisch konjugierten Bildebene bezeichnet. Der Abstand zwischen Systemblende und Bildebene beträgt vorzugsweise weniger als 25%, insbesondere weniger als 22% der
5 Baulänge und/oder weniger als ca. 95%, 90% oder 86% des Blendendurchmessers. Insgesamt ist demnach eine sehr bildnahe Lage der Systemblende günstig. Dabei kann die Blende real oder gleichwertig der konjugierte Ort der realen Blende bei Vorhandensein eines Zwischenbildes sein.

10

Erfindungsgemäße Projektionsobjektive können katadioptrisch oder dioptrisch aufgebaut sein und sollen obskurationsfrei abbilden. Bevorzugt sind rein refraktive, also dioptrische Projektionsobjektive, bei denen alle mit Brechkraft behafteten optischen Komponenten aus
15 transparentem Material bestehen. Bei einem Beispiel handelt es sich um ein Ein-Taillensystem mit einem objektnahen Bauch, einem bildnahen Bauch und einer dazwischenliegenden Taille, in deren Bereich der Strahlendurchmesser vorzugsweise weniger als ca. 50% des maximalen Strahldurchmessers im Bereich eines der Bäuche beträgt.

20

Die Systeme können so aufgebaut werden, dass alle transparenten optischen Elemente aus dem gleichen Material gefertigt sind. Bei einer für eine Arbeitswellenlänge von 193nm ausgelegten Ausführungsform wird für alle Linsen synthetisches Quarzglas verwendet. Auch
25 Ausführungsformen für 157nm, bei denen alle Linsen aus Kalziumfluorid oder einem anderen Fluoridkristallmaterial bestehen, sind möglich. Auch Kombinationen mehrerer unterschiedlicher Materialien sind möglich, beispielsweise um die Korrektur von Farbfehlern zu erleichtern oder um Compaction zu verringern. Beispielsweise kann bei 193nm das
30 synthetische Quarzglas durch ein Kristallmaterial, z.B. Kalziumfluorid ersetzt werden.

- 7 -

Im Rahmen der Erfindung sind höchstaperturige Projektionsobjektive, insbesondere auch rein refraktive Projektionsobjektive möglich, bei denen die bildseitige numerische Apertur $NA \geq 0,85$ ist. Sie beträgt vorzugsweise mindestens 1 und hat bei einer später näher erläuterten

5 Ausführungsform einen Wert $NA = 1,1$. Trotz dieser hohen numerischen Aperturen ist eine Einkopplung von ausreichend Lichtenergie in das zu belichtende Substrat über einen gasgefüllten Spalt möglich, wenn ein ausreichend geringer bildseitiger Arbeitsabstand eingehalten wird. Dieser liegt bei bevorzugten Ausführungsformen unterhalb des

10 Vierfachen der verwendeten Arbeitswellenlänge, insbesondere unterhalb der Arbeitswellenlänge. Besonders günstig ist es, wenn der Arbeitsabstand weniger als die Hälfte der Arbeitswellenlänge beträgt, beispielsweise weniger als ein Drittel, ein Viertel oder ein Fünftel der Arbeitswellenlänge. Bei diesen kurzen Arbeitsabständen kann eine

15 Abbildung im optischen Nahfeld erfolgen, bei der evaneszente Felder, die in unmittelbarer Nähe der letzten optischen Fläche des Abbildungssystems existierten, zur Abbildung genutzt werden. Die Projektionsobjektive sind auch für die Immersionslithographie tauglich, bei der der Raum zwischen der Austrittsfläche des Objektivs und dem

20 Substrat mit einem Immersionsfluid mit geeigneter Brechzahl und ausreichender Transmission für die verwendete Wellenlänge ausgefüllt ist. Geeignete Immersionsflüssigkeiten können z.B. hauptsächlich die Elemente H, F, C oder S enthalten. Auch deionisiertes Wasser ist verwendbar.

25

Trotz dieser extremen Werte für numerische Apertur und Arbeitsabstand sind Dank der Erfindung Objektive mit einem sehr großen, für die praktische Lithographie ausreichenden Bildfelddurchmesser möglich, der bei bevorzugten Ausführungsformen größer als ca. 10mm, insbesondere größere als ca. 20mm ist und/oder mehr als 1%,

30 insbesondere mehr als 1,5% der Baulänge des Projektionsobjektivs

- 8 -

und/oder mehr als 1%, insbesondere mehr als 5% des größten Linsendurchmessers betragen kann.

Bevorzugte Projektionsobjektive zeichnen sich durch eine Anzahl
5 günstiger konstruktiver und optischer Merkmale aus, die alleine oder in Kombination miteinander für die Eignung des Objektivs für die höchstauflösende Mikrolithographie, insbesondere im optischen Nahfeld und für die Immersionslithographie förderlich sind.

10 Im Bereich der Systemblende ist vorzugsweise mindestens eine asphärische Fläche angeordnet. Vorzugsweise kommen hinter den Blende dicht aufeinander folgend mehrere Flächen mit Asphären. Insbesondere kann zwischen Systemblende und Bildebene mindestens eine doppelasphärische Linse vorgesehen sein, die bevorzugt eine
15 Bikonvexlinse ist. Somit kann auch im Bereich zwischen Taille und Bildebene, d.h. im letzten Bauch, mindestens eine doppelsphärische Bikonvexlinse günstig sein. Es kann weiter günstig sein, wenn die letzte optische Fläche vor der Systemblende und die erste optische Fläche nach der Systemblende asphärisch ist. Hier können insbesondere
20 gegenüberliegende asphärische Flächen mit von der Blende wegweisender Krümmung vorgesehen sein. Die hohe Anzahl von asphärischen Flächen im Bereich der Systemblende ist günstig für die Korrektur der sphärischen Abberation und wirkt sich günstig auf die Einstellung der Isoplanasie aus.

25 Im Bereich unmittelbar vor der Systemblende ist vorzugsweise mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche vorgesehen. Bei höheren Aperturen können mindestens zwei solcher Menisken, die aufeinander folgen, günstig sein, welche positive oder
30 negative Brechkraft haben können. Bei sehr hohen Öffnungswinkeln von $NA \geq 1,0$ ist eine Zweiergruppe derartiger Menisken bevorzugt, bei der ein Meniskus mit negativer Brechkraft auf einen Meniskus mit positiver

Brechkraft folgt. Die negative Brechkraft ist vorzugsweise so groß, dass im Strahlbündel eine geringfügige Querschnittsverengung (Hilfstaille) auftreten kann.

- 5 Eine Meniskengruppe mit einem Positiv-Meniskus und einem dahinter liegenden Negativ-Meniskus, bei der die Krümmungsmittelpunkte aller optischen Flächen objektseitig bzw. retikelseitig liegen, kann auch unabhängig von den sonstigen Merkmalen der Erfindung bei anderen Projektionsobjektiven vorteilhaft sein, insbesondere direkt vor einer
- 10 Blende im Bereich großer Strahldurchmesser, wobei die Blende eine physikalische Blende zur Bündelquerschnittsveränderung oder eine konjugierte Blende sein kann.

- Es hat sich weiterhin als vorteilhaft herausgestellt, wenn zwischen der
- 15 Taille und der Systemblende mindestens eine Meniskuslinse mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteter Konkavfläche angeordnet ist. Besonders günstig sind häufig mindestens zwei aufeinander folgende, derartige Meniskuslinsen, deren Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen. Vorteilhaft ist es dabei, wenn die Brechkraft des ersten,
- 20 objektseitigen Meniskus um mindestens 30% stärker ist als diejenige des darauffolgenden, bildseitigen Meniskus der Meniskengruppe.

- Weiterhin kann es günstig sein, wenn zwischen der Taille und der
- 25 Systemblende in der Nähe der Taille mindestens eine Positiv-Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche angeordnet ist. Auch hier können statt einer derartigen Meniskuslinse mehrere, beispielsweise zwei, aufeinanderfolgende Linsen dieses Typs vorgesehen sein.

- 30 Besonders vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen zwischen Taille und Systemblende in dieser Reihenfolge mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche und dahinter mindestens

eine Meniskuslinse mit bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist. Vorzugsweise sind jeweils zwei aufeinanderfolgende Menisken der jeweiligen Krümmungen vorgesehen. Die der Taille zugewandten Meniskuslinsen haben vorzugsweise positive, die der Bildebene zugewandten Menisken vorzugsweise negative Brechkraft. Im Bereich
5 zwischen diesen Linsen bzw. Linsengruppen findet somit ein Wechsel in der Lage der Krümmungsmittelpunkte von Menisken statt.

Im Bereich der Taille sind bevorzugt mehrere Negativlinsen aufeinander
10 folgend angeordnet, bei bevorzugten Ausführungsformen sind es mindestens zwei, vorzugsweise drei Negativlinsen. Diese tragen die Hauptlast der Petzvalkorrektur.

Am objektseitigen Eingang des Systems beim Eintritt in den ersten
15 Bauch sind wenigstens zwei Negativlinsen vorteilhaft, um das vom Objekt kommende Strahlbündel aufzuweiten. Drei oder mehr derartiger Negativlinsen sind bevorzugt. Bei hohen Eingangsaperturen von mehr als 0,2 ist es günstig, wenn auf mindestens einer der ersten Linsen mindestens eine asphärische Fläche vorgesehen ist. Vorzugsweise hat
20 jede der eingangsseitigen Negativlinsen mindestens eine asphärische Fläche.

Hinter dieser Eingangsgruppe folgt bevorzugt eine Linsengruppe mit starker positiver Brechkraft, welche den ersten Bauch der Strahlführung
25 darstellt. In dieser Gruppe kann im Bereich großer Strahlhöhen im Nahbereich der Objektebene mindestens eine Meniskuslinse mit positiver Brechkraft und bildseitigen Konkavflächen günstig sein. Bei einem derartigen Meniskus, dessen Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen, hat die zum Bild gewandte Austrittsseite bevorzugt eine relativ
30 starke Krümmung, deren Radius beispielsweise kleiner als 50% der Baulänge des Projektionsobjektivs sein kann.

Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und der Zeichnung hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können.

Fig. 1 ist ein Linsenschnitt durch eine Ausführungsform eines refraktiven Projektionsobjektivs, das für 193nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist.

Bei der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform bezeichnet der Begriff „optische Achse“ eine gerade Linie durch die Krümmungsmittelpunkte der sphärischen optischen Komponenten bzw. durch die Symmetrieachsen von asphärischen Elementen. Richtungen und Abstände werden als bildseitig, waferseitig oder bildwärts beschrieben, wenn sie in Richtung der Bildebene bzw. des dort befindlichen, zu belichtenden Substrats gerichtet sind und als objektseitig, retikelseitig oder objektwärts, wenn sie in Bezug auf die optische Achse zum Objekt gerichtet sind. Das Objekt ist in den Beispielen eine Maske (Retikel) mit dem Muster einer integrierten Schaltung, es kann sich aber auch um ein anderes Muster, beispielsweise eines Gitters handeln. Das Bild wird in den Beispielen auf einem als Substrat dienenden, mit einer Photoresistschicht dienenden Wafer gebildet, jedoch sind auch andere Substrate möglich, beispielsweise Elemente für Flüssigkristallanzeigen oder Substrate für optische Gitter. Die angegebenen Brennweiten sind Brennweiten bezüglich Luft.

In Fig. 1 ist ein charakteristischer Aufbau eines erfindungsgemäßen, rein refraktiven Reduktionsobjektivs 1 gezeigt. Es dient dazu, ein in einer Objektebene 2 angeordnetes Muster eines Retikels oder dergleichen in

eine zur Objektebene konjugierte Bildebene 3 in reduziertem Maßstab ohne Obskurationen bzw. Abschattungen im Bildfeld abzubilden, beispielsweise im Maßstab 5 : 1. Es handelt sich um ein rotationssymmetrisches Ein-Taillensystem, dessen Linsen entlang einer senkrecht zur Objekt- und Bildebene stehenden optischen Achse 4 angeordnet sind und einen objektseitigen Bauch 6, einen bildseitigen Bauch 8 sowie eine dazwischenliegende Taille 7 bilden. Innerhalb des zweiten Bauches 8 ist eine kleine Hilfs-Taille 9 nahe vor der Systemblende 5 ausgebildet. Die Systemblende 5 liegt im bildnahen Bereich großer Strahldurchmesser.

Die Linsen können in mehrere aufeinanderfolgende Linsengruppen mit spezifischen Eigenschaften und Funktionen eingeteilt werden. Eine der Objektebene 2 folgende erste Linsengruppe LG1 am Eingang des Projektionsobjektivs hat insgesamt negative Brechkraft und dient der Aufweitung des vom Objektfeld kommenden Strahlbündels. Eine darauffolgende zweite Linsengruppe LG2 mit insgesamt positiver Brechkraft bildet den ersten Bauch 6 und führt den Strahl vor der nachfolgenden Taille 7 wieder zusammen. Im Bereich der Taille 7 befindet sich eine dritte Linsengruppe LG3 mit negativer Brechkraft. Dieser folgt eine aus Positiv-Meniskuslinsen bestehende Linsengruppe 4 mit positiver Brechkraft, der eine aus Negativ-Meniskuslinsen bestehende fünfte Linsengruppe LG5 mit negativer Brechkraft folgt. Die darauffolgende Linsengruppe LG6 mit positiver Brechkraft führt die Strahlung zur Systemblende 5. Hinter dieser liegt die siebte und letzte Linsengruppe LG7, die aus drei Einzellinsen mit positiver Brechkraft besteht und den Hauptbeitrag zur Erzeugung der sehr hohen bildseitigen numerischen Apertur von $NA = 1,1$ leistet. Für diese gilt: $NA = n \cdot \sin u'$, wobei n die Brechzahl des letzten optischen Mediums (z.B. eines Immersionsfluids) und u' der halbe bildseitige Aperturwinkel ist.

Die erste Linsengruppe LG1 eröffnet mit drei Negativlinsen 11, 12, 13, die in dieser Reihenfolge eine bikonkave Negativlinse 11 mit asphärischer Eintrittsseite, eine Negativ-Meniskuslinse 12 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt und asphärischer Eintrittsseite und
5 eine Negativ-Meniskuslinse 13 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt und asphärischer Austrittsseite umfasst. Bei der vorliegenden hohen Eingangsapertur von 0,2125 sollte auf wenigstens einer der ersten beiden Linsen 11, 12 mindestens eine asphärische Fläche vorgesehen sein, um die Erzeugung von Abberationen in diesem
10 Bereich zu begrenzen. Vorzugsweise ist, wie im vorliegenden Beispiel, an jeder der drei Negativlinsen (mindestens) eine asphärische Fläche vorgesehen.

Die zweite Linsengruppe LG2 hat mit geringem Luftabstand hinter der
15 letzten Linse 13 der ersten Linsengruppe LG1 eine Positiv-Meniskuslinse 14 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine weitere Positiv-Meniskuslinse 15 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine Positiv-Meniskuslinse 16 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine weitere Positivlinse 17 mit nahezu ebener
20 Austrittsseite, eine Positiv-Meniskuslinse 18 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt der Flächen sowie eine brechkraftarme Meniskuslinse 20 gleicher Krümmungsrichtung mit nahezu parallelen Linsenflächen. Die nur schwach gekrümmte Eintrittsseite der Linse 15, die ebenfalls nur schwach gekrümmte Austrittsseite der Linse 17 und die
25 Austrittsseite der letzten Meniskuslinse 20 sind asphärisch. Diese zweite Linsengruppe LG2 stellt den ersten Bauch 6 des Objektivs dar. Eine Besonderheit bildet die beim größten Durchmesser angeordnete Positiv-Meniskuslinse 16, deren Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen. Der Radius der Austrittsfläche dieser Linse 16 hat einen Wert, der kleiner als
30 die Hälfte des Objekt-Bildabstandes ist. Diese Linsengruppe dient vor allem der Petzvalkorrektur, der Verzeichnungs-Telezentriekorrektur und der Bildfeldkorrektur außerhalb der Hauptschnitte.

Die dritte Linsengruppe LG3 besteht aus drei Negativ-Meniskuslinsen 20, 21, 22, deren Grenzflächen jeweils sphärisch sind. Diese Linsengruppe trägt die Hauptlast der Korrektur der Bildfeldkrümmung und ist so gestaltet, dass trotz der hohen Systemapertur von $NA = 1,1$ die maximalen Inzidenzwinkel der auf die Linsenflächen treffenden Strahlen unterhalb ca. 60° bzw. der Sinus der Inzidenzwinkel jeweils unterhalb 0,85 liegt. Die erste Negativlinse 20 der dritten Gruppe ist bevorzugt eine stark bikonkave Linse, so dass die Haupttaille 7 mit stark gekrümmten Flächen eröffnet.

Die der Taille 7 folgende vierte Linsengruppe LG4 besteht aus zwei Positiv-Meniskuslinsen 23, 24 mit bildseitigen Konkavflächen, wobei die Austrittsseite der eingangsseitigen Meniskuslinse 23 asphärisch, die übrigen Flächen sphärisch sind. Bei anderen Ausführungsformen kann an dieser Stelle auch nur einziger Positiv-Meniskus entsprechender Krümmung vorgesehen sein.

Die darauffolgende fünfte Linsengruppe LG5 hat ebenfalls zwei Meniskuslinsen 25, 26, jedoch haben diese jeweils negative Brechkraft und die konkaven Flächen sind zum Bildfeld 3 gerichtet. Gegebenenfalls kann an dieser Stelle auch nur ein negativer Meniskus vorgesehen sein, dessen Krümmungsmittelpunkt waferseitig liegt. Es hat sich als günstig herausgestellt, wenn die negative Brechkraft des objektseitigen, Negativ-Meniskus 25 mindestens 30% stärker ist als die des darauffolgenden Meniskus 26. Eine solche Gruppe mit mindestens einem negativen Meniskus ist für die Funktion des Ein-Taillensystems ein zentrales Korrektionselement, um elegant außeraxiale Bildfehler zu korrigieren. Insbesondere wird dadurch ein kompaktes Design mit relativ geringen Linsendurchmessern ermöglicht.

Besonders wichtig ist, dass in dem der Taille 7 folgenden Eingangsbereich des zweiten Bauches 8 ein Wechsel in der Lage der Krümmungsmittelpunkte zwischen Menisken der vierten Linsengruppe LG4 und der fünften Linsengruppe LG5 stattfindet. Dadurch kann
5 erreicht werden, dass schiefe sphärische Aberration bei extremer Apertur geglättet werden kann.

Die sechste Linsengruppe LG6 beginnt mit einer Abfolge von Positiv-Linsen 27, 28, 29, 30, wobei es sich als günstig herausgestellt hat, wenn
10 mindestens zwei dieser Linsen Bikonvexlinsen sind, wie die am Eingang der sechsten Linsengruppe unmittelbar aufeinanderfolgenden Linsen 27, 28 mit jeweils sphärischen Linsenflächen. Im Beispiel folgt auf die Bikonvexlinsen 27, 28 eine schwach positive Meniskuslinse 29 mit bildseitiger Konkavfläche.

15 Am Ausgang der sechsten Linsengruppe LG6 unmittelbar vor der Systemblende 5 kommt eine Meniskengruppe mit zwei Meniskuslinsen 30, 31, deren Krümmungsmittelpunkte alle retikelseitig bzw. objektseitig liegen. An dieser Stelle könnte insbesondere bei Objektiven mit
20 niedrigeren Aperturen auch nur eine entsprechende Meniskuslinse mit positiver oder negativer Brechkraft vorgesehen sein. Bei der gezeigten sehr hohen Apertur von $NA \geq 1$ ist die gezeigte Zweiergruppe 30, 31 bevorzugt, wobei die eingangsseitige Meniskuslinse 30 bevorzugt positive und die darauffolgende Meniskuslinse 31 bevorzugt negative
25 Brechkraft hat. Vorteilhafterweise ist deren negative Brechkraft so groß, dass im Strahlengang eine leichte Einschnürung in Form einer Hilfstaille 9 entsteht. Hierdurch kann erreicht werden, dass schiefe sphärische tangential zur schiefen sphärischen sagital günstig austariert werden kann.

30 Die zwischen Systemblende 5 und Bildebene 3 angeordnete siebte Linsengruppe LG7 stellt eine weitere Besonderheit erfindungsgemäßer

Projektionsobjektive dar. Besonders in diesem Bereich sind spezielle Maßnahmen erforderlich, um die Flächenbelastung der optischen Flächen insgesamt so zu beherrschen, dass eine aberrationsarme Abbildung bei ausreichender Transmission des Gesamtobjektivs
5 erzielbar ist. Hierzu sollte zwischen Blende 5 und Wafer 3 dafür gesorgt werden, dass im Bauteil keine Aperturen entstehen, die als Bauteil gegen Luft eine Apertur nahe 1 erreichen. Ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung dieses Zieles wird hier dadurch geschaffen, dass unmittelbar vor der Bildebene 3 als letztes optisches Element eine Plankonvexlinse
10 34 mit sphärischer Eintrittsfläche und ebener Austrittsfläche angeordnet ist. Diese ist so dick, dass ihr Durchmesser mehr als die Hälfte des Durchmessers der Systemblende 5 beträgt, idealerweise sogar mehr als 60% oder 70% dieses Wertes. Anzustreben ist somit ein möglichst langer Radius mit hoher Öffnung dieser, vorzugsweise sphärischen,
15 Eintrittsfläche. Dieser lange Radius ist anzustreben, da dadurch die Feldbelastung der Eintrittsfläche abnimmt. Je länger der Radius ist, desto kleiner ist das relative Feld und damit die induzierten Feldaberrationen. Die Eintrittsfläche kann auch asphärisch sein.

20 Die bildnahe Plankonvexgruppe, die hier durch ein einzelnes, einstückiges Linsenelement 34 gebildet wird, hat brechende Wirkung. Dies ist daran erkennbar, dass die Eintrittsfläche nicht konzentrisch zur Bildfeldmitte angeordnet ist, weil der Radius sich von der Linsendicke unterscheidet. Bevorzugt sind axial langgestreckte Linsen dieses Typs,
25 bei denen der Krümmungsmittelpunkt der Eintrittsfläche innerhalb der Linse liegt. Plankonvexgruppen bzw. Plankonvexlinsen dieser Art unterscheiden sich daher wesentlich von halbkugeligen Plankonvexlinsen, bei denen der Radius im wesentlichen ihrer Dicke entspricht und die beispielsweise in der Mikroskopie zur Verbesserung
30 der Einkopplung des Lichtes in das Mikroskopobjektiv genutzt werden und selbst keine brechende Eigenschaften haben dürfen.

Dem Plankonvexmeniskus 34 sind bei der gezeigten Ausführungsform zwei sehr große Positivlinsen 32, 33 vorangestellt, die den wesentlichen Beitrag zur Systembrechkraft bereitstellen. Dadurch, dass sie dicht hinter der Blende im Bereich großer Strahldurchmesser sitzen, ist auch hier die relative Feldbelastung minimiert. Das Beispiel zeigt somit eine sehr einfach und effiziente Auslegung eines für höchste Aperturen geeigneten lithographischen Objektivs bezüglich des Bereichs hinter der Systemblende. Der Plankonvexmeniskus 34 greift mit geringer Brechkraft das von den Positivlinsen 32, 33 kommende, konvergente Bündel in Luft bzw. einem anderen geeignetem gasförmigen Medium innerhalb des Projektionsobjektivs auf, um es in die lichtempfindliche Schicht des Substrats weiterzuleiten. Günstig sind somit Ausführungsformen, bei denen zwischen Blende 5 und Wafer ausschließlich positive Linsen stehen, wobei zusätzlich allenfalls noch eine oder mehrere planparallele Platten vorgesehen sein können. Auch eine möglichst niedrige Anzahl optischer Flächen in diesem Bereich ist günstig, da jede Fläche auch bei guter Entspiegelung Reflexionsverluste verursacht. Die Linsenanzahl sollte hier vier oder weniger betragen, wobei wiederum planparallele Platten optional vorgesehen sein können.

Weitere vorteilhafte Maßnahmen bestehen darin, dass im Bereich der Blende, insbesondere dicht hinter dieser, Flächen mit Asphären vorgesehen sein sollten. Diese können sich in einer Linse gegenüberstehen, wie es im Falle der bikonvexen, doppelt-asphärischen Positivlinse 32 der Fall ist. Günstig ist weiterhin, wenn sowohl unmittelbar vor der Blendenebene, als auch unmittelbar dahinter eine asphärische Fläche vorgesehen ist. Im Beispielsfall sind dies die Austrittsfläche des Negativ-Meniskus 31 und die Eintrittsfläche der bikonvexen Positivlinse 32. Die hohe Anzahl von Asphären im Bereich um die Systemblende 5 dient im Beispielfall vor allem der Korrektur der sphärischen Abberation (Zernike-Koeffizienten Z9, Z16, Z25, Z26, Z36,

Z49) sowie der Einstellung der Isoplanasie, also der Korrektur des aperturbedingten Abbildungsmaßstabes.

In Tabelle 1 ist die Spezifikation des Designs in bekannter Weise in tabellarischer Form zusammengefasst. Dabei gibt Spalte 1 die Nummer einer brechenden oder auf andere Weise ausgezeichneten Fläche, Spalte 2 den Radius r der Fläche (in mm), Spalte 3 den als Dicke bezeichneten Abstand d der Fläche zur nachfolgenden Fläche (in mm), Spalte 4 das Material der optischen Komponenten und Spalte 5 die Brechzahl bzw. den Brechungsindex des Materials des Bauelementes an, welches der Eintrittsfläche folgt. In Spalte 6 sind die nutzbaren, freien Radien bzw. der halbe freie Durchmesser der Linsen (in mm) angegeben.

Bei der Ausführungsform sind dreizehn der Flächen, nämlich die Flächen 2, 4, 7, 10, 15, 19, 27, 32, 41, 43, 45, 46 und 48 asphärisch. Tabelle 2 gibt die entsprechenden Asphärendaten an, wobei sich die asphärischen Flächen nach folgender Vorschrift berechnen:

$$p(h)=[((1/r)h^2)/(1+\text{SQRT}(1-(1+K)(1/r)^2h^2))]+C1*h^4+C2*h^6+....$$

Dabei gibt der Kehrwert $(1/r)$ des Radius die Flächenkrümmung und h den Abstand eines Flächenpunktes von der optischen Achse an. Somit gibt $p(h)$ die sogenannten Pfeilhöhe, d.h. den Abstand des Flächenpunktes vom Flächenscheitel in z -Richtung, d.h. in Richtung der optischen Achse. Die Konstanten K , $C1$, $C2$, ... sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

20

Das mit Hilfe dieser Angaben reproduzierbare optische System 1 ist für eine Arbeitswellenlänge von ca. 193nm ausgelegt, bei der das für alle Linsen verwendete, synthetisches Quarzglas einen Brechungsindex $n = 1,56029$ hat. Die bildseitige numerische Apertur beträgt 1,1. Das
25 Objektiv hat eine Baulänge (Abstand zwischen Bildebene und

Objektebene) von 1297mm. Bei einer Bildgröße von 22mm wird ein Lichtleitwert (Produkt aus numerischer Apertur und Bildgröße) von 24,1mm erreicht. Der bildseitige Arbeitsabstand, d.h. der Abstand zwischen der ebenen Austrittsfläche des letzten optischen Elements 34 und der Bildebene 3 ist nicht gesondert aufgeführt. Es kann z.B. 20 bis 50nm betragen. Dadurch ist das Projektionsobjektiv für die Nahfeld-Lithographie geeignet.

Möchte man an Stelle der Nahfeld-Lithographie Immersionslithographie betreiben, so ist dies durch geringfügige Modifikationen leicht möglich. Hat das Immersionsmedium im wesentlichen die gleiche Brechzahl wie das letzte optische Element des Objektivs (das beispielsweise aus Glas oder Kristall besteht), so wird der Festkörper zur Erzielung eines größeren Abstandes zur Bildebene gekürzt und der entstehende größere Zwischenraum durch das Immersionsmedium, z.B. deionisiertes Wasser gefüllt. Weicht der Brechungsindex des Immersionsmediums von demjenigen der letzten optischen Komponente ab, werden beide Dicken bestmöglich aufeinander abgestimmt. Gegebenenfalls ist eine sphärische Nachkorrektur günstig, die beispielsweise mit Hilfe geeigneter Manipulatoren an einem oder mehreren Linsenelementen beispielsweise durch Verstellung von Luftabständen durchgeführt werden kann. Es kann auch günstig sein, dass hier beispielhaft dargestellt Design leicht zu modifizieren.

Damit ist ein Projektionsobjektiv geschaffen, das bei einer Arbeitswellenlänge von 193nm arbeitet, mit Hilfe konventioneller Techniken für Linsenherstellung und Beschichtungen hergestellt werden kann und eine Auflösung von Strukturen deutlich unterhalb 100nm erlaubt. Viele einzeln oder in Kombination nützliche, konstruktive Maßnahmen und der neuartige Aufbau des Bereichs zwischen Blende 5 und Bildebene 3 ermöglichen eine Gesamtapertur im zu belichtenden Medium von 1,1 bei relativ kleinen Flächenbelastungen der optischen

- 20 -

Flächen innerhalb des Projektionsobjektivs. Strukturbreiten im Bereich von 50nm können trotz der riesigen Apertur von 1,1 hervorragend dargestellt werden. Deutlich wird dies an geringen Queraberrationswerten und an einem Wellenfront-RMS-Wert von 2,6mλ bei 193nm über alle Bildhöhen.

Das vorgestellte Beispiel bietet weitere Entwicklungsmöglichkeiten in Richtung höherer Apertur und/oder geringerer Zahl der Grenzflächen. Beispielsweise können einige paarweise benachbarte Linsen zu jeweils einer einzigen Linse zusammengefasst werden, um auf diese Weise die Grenzflächenzahl jeweils um zwei zu reduzieren. Beispielsweise können die Linsen 23 und 24, die Linsen 18 und 19, die Linsen 13 und 14, die Linsen 26 und 27 und/oder die Linsen 11 und 12 jeweils zu einer Linse zusammengefasst werden. Gegebenenfalls sind hierbei asphärische Flächen zu verlegen oder zu modifizieren. Eine Zusammenfassung von Linsen ist besonders für kürzere Wellenlängen, z.B. 157nm günstig, bei denen Entspiegelung und Oberflächenrauigkeit von Linsenoberflächen problematisch sein können. Gegebenenfalls kann bei höchsten Aperturen hinter der Blende eine weitere Positivlinse günstig sein, um bei Aperturerhöhungen möglichst wenig aperturbehaftete neue Aberrationen einzuführen.

Die Vorteile der Erfindung sind nicht nur bei rein refraktiven Projektionsobjektiven nutzbar, sondern auch bei katadioptrischen Projektionsobjektiven, insbesondere solchen, die mit geometrischer oder physikalischer (polarisationsselektiver) Strahlteilung arbeiten. Besonderheiten liegen vor allem bei Aufbau und Funktion im Bereich der bildnahen Systemblende und zwischen dieser und der Bildebene. Die vorgeschalteten Objektivteile, welche bei katadioptrischen Projektionsobjektiven mindestens einen abbildenden Spiegel umfassen, sollten zumindest eine Überkorrektur des Farblängsfehlers bereitstellen, um die entsprechende Unterkorrektur der letzten Linsengruppe zu

- 21 -

5 kompensieren. Vorzugsweise sollte eine Petzval-Überkorrektur bereitgestellt werden, um einen Vorhalt für die Petzval-Unterkorrektur der letzten Linsengruppe bereitzustellen. Da diese, ähnlich wie eine einzelne Positivlinse, bezüglich sphärischer Aberration unterkorrigiert ist, sollte der vorgelagerte Objektivteil insgesamt sphärisch überkorrigierend wirken. Die Maßnahmen zur Erzielung dieser optischen Charakteristika sind dem Fachmann bekannt und werden daher hier nicht näher erläutert.

Tabelle 1

| FLAECHE | RADIEN | DICKEN | GLAESER | BRECHZAHL 193.304nm | 1/2 FREIER DURCHMESSER |
|---------|-------------------|---------------|---------|------------------------|---------------------------|
| 0 | 0.000000000 | 27.200000000 | L710 | 0.99998200 | 45.607 |
| 1 | 0.000000000 | 5.918415780 | L710 | 0.99998200 | 53.333 |
| 2 | -856.520151429AS | 8.513391670 | SIO2HL | 1.56028895 | 54.216 |
| 3 | 221.390186129 | 4.416825103 | N2 | 1.00000320 | 58.807 |
| 4 | 388.002080060AS | 7.500000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 62.597 |
| 5 | 145.662170604 | 35.066769313 | N2 | 1.00000320 | 64.799 |
| 6 | -156.528478897 | 13.825053459 | SIO2HL | 1.56028895 | 68.237 |
| 7 | -569.268909317AS | 1.048245321 | N2 | 1.00000320 | 84.737 |
| 8 | -685.623617269 | 46.805975671 | SIO2HL | 1.56028895 | 86.118 |
| 9 | -204.957576367 | 0.709606715 | N2 | 1.00000320 | 103.144 |
| 10 | -880.911273998AS | 54.777943597 | SIO2HL | 1.56028895 | 125.013 |
| 11 | -248.526945989 | 1.683182576 | N2 | 1.00000320 | 131.423 |
| 12 | 224.822351709 | 54.871581452 | SIO2HL | 1.56028895 | 156.309 |
| 13 | 512.337183722 | 33.734945339 | N2 | 1.00000320 | 153.303 |
| 14 | 304.374483761 | 58.667551666 | SIO2HL | 1.56028895 | 146.757 |
| 15 | -6287.676161070AS | 0.700000000 | N2 | 1.00000320 | 140.984 |
| 16 | 129.979785804 | 69.743588545 | SIO2HL | 1.56028895 | 112.463 |
| 17 | 138.594373293 | 2.395572054 | N2 | 1.00000320 | 85.809 |
| 18 | 138.485177581 | 10.992090105 | SIO2HL | 1.56028895 | 84.654 |
| 19 | 162.930027134AS | 45.897552290 | N2 | 1.00000320 | 78.232 |
| 20 | -186.365747641 | 7.500000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 75.979 |
| 21 | 209.249850090 | 47.901412683 | N2 | 1.00000320 | 70.469 |
| 22 | -92.976145902 | 7.500000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 70.319 |
| 23 | 3940.003552383 | 22.698881573 | N2 | 1.00000320 | 84.285 |
| 24 | -210.566279065 | 13.458540900 | SIO2HL | 1.56028895 | 86.301 |
| 25 | -481.930608562 | 10.599713214 | N2 | 1.00000320 | 98.309 |
| 26 | -299.003037123 | 29.233512385 | SIO2HL | 1.56028895 | 100.896 |
| 27 | -211.128540124AS | 0.700000000 | N2 | 1.00000320 | 111.974 |
| 28 | -241.783293846 | 45.186608069 | SIO2HL | 1.56028895 | 113.068 |
| 29 | -142.093795869 | 0.700000000 | N2 | 1.00000320 | 118.747 |
| 30 | 373.228657636 | 15.000000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 144.714 |
| 31 | 281.545559695 | 37.551434993 | N2 | 1.00000320 | 144.973 |
| 32 | 2257.943358151AS | 15.000000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 146.555 |
| 33 | 942.886809577 | 9.018344987 | N2 | 1.00000320 | 151.237 |
| 34 | 1839.757565259 | 41.221307008 | SIO2HL | 1.56028895 | 152.796 |
| 35 | -572.892294825 | 0.700000000 | N2 | 1.00000320 | 156.198 |
| 36 | 536.885209090 | 59.927790928 | SIO2HL | 1.56028895 | 168.303 |
| 37 | -588.394317091 | 0.700000003 | N2 | 1.00000320 | 168.532 |
| 38 | 600.944472100 | 32.859055286 | SIO2HL | 1.56028895 | 162.458 |
| 39 | 1435.651038119 | 39.540839130 | N2 | 1.00000320 | 158.952 |
| 40 | -542.595637794 | 21.000000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 157.309 |
| 41 | -421.356226662AS | 28.605920520 | N2 | 1.00000320 | 156.999 |
| 42 | -253.952587228 | 15.000000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 153.788 |
| 43 | -804.677872363AS | 32.000000000 | N2 | 1.00000320 | 158.842 |
| 44 | 0.000000000 | 10.700000010 | N2 | 1.00000320 | 162.250 |
| 45 | 439.828583479AS | 60.615863511 | SIO2HL | 1.56028895 | 169.169 |
| 46 | -554.126799640AS | 0.854609370 | N2 | 1.00000320 | 169.058 |
| 47 | 251.288231110 | 66.707994802 | SIO2HL | 1.56028895 | 152.022 |
| 48 | -1261.158042833AS | 0.700000000 | N2 | 1.00000320 | 149.150 |
| 49 | 120.292681477 | 139.355322544 | SIO2HL | 1.56028895 | 99.158 |
| 50 | 0.000000000 | 0.000000000 | SIO2HL | 1.56028895 | 11.402 |
| 51 | 0.000000000 | 0.000000000 | | 1.00000000 | 11.402 |

Tabelle 2

FLAECHE NR. 2

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | -2.94971307e-008 |
| C2 | -5.57984348e-011 |
| C3 | 8.46982512e-015 |
| C4 | 5.00708078e-019 |
| C5 | -3.78477968e-022 |
| C6 | 4.94732324e-026 |
| C7 | -2.07498764e-030 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 4

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.26266925e-007 |
| C2 | 4.12437333e-011 |
| C3 | -8.13482251e-015 |
| C4 | -9.73333957e-019 |
| C5 | 5.21683282e-022 |
| C6 | -6.98262222e-026 |
| C7 | 3.24713110e-030 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 7

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.14406930e-008 |
| C2 | 4.01486796e-013 |
| C3 | -1.15749689e-016 |
| C4 | -2.17404465e-020 |
| C5 | 4.76039865e-024 |
| C6 | -4.04274950e-028 |
| C7 | 2.26352156e-032 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 10

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 4.04801375e-008 |
| C2 | 3.59502309e-013 |
| C3 | -4.82739756e-017 |
| C4 | -2.12222071e-021 |
| C5 | 3.16153319e-025 |
| C6 | -1.24031349e-029 |
| C7 | 1.72585585e-034 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 15

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 1.77772008e-009 |
| C2 | 6.20555687e-014 |
| C3 | 1.17962639e-018 |
| C4 | -3.75710986e-023 |
| C5 | 8.23659263e-027 |
| C6 | -3.78043433e-031 |
| C7 | 5.28341681e-036 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 19

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 1.12510953e-007 |
| C2 | 5.25382772e-012 |
| C3 | 3.54985200e-016 |
| C4 | 2.17219317e-020 |
| C5 | 3.35596515e-024 |
| C6 | -1.94149952e-028 |
| C7 | 4.47299373e-032 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 27

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.75008177e-008 |
| C2 | -4.51696088e-013 |
| C3 | -5.50353634e-018 |
| C4 | -2.48871975e-022 |
| C5 | -4.84285060e-026 |
| C6 | 4.35721702e-030 |
| C7 | -1.70355795e-034 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 32

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 4.61774725e-009 |
| C2 | -1.45428945e-013 |
| C3 | 5.33766031e-018 |
| C4 | -1.05172907e-022 |
| C5 | 1.13262775e-027 |
| C6 | 2.90828821e-032 |
| C7 | -9.47335184e-037 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

Tabelle 2 (Fortsetzung)

FLAECHE NR. 41

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | -1.74774919e-009 |
| C2 | 3.60065638e-015 |
| C3 | -6.33371869e-019 |
| C4 | -2.58752868e-023 |
| C5 | -1.29026764e-027 |
| C6 | 4.06422380e-032 |
| C7 | -2.03413277e-036 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 43

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | -1.52776855e-009 |
| C2 | 3.99966157e-014 |
| C3 | -3.59152071e-019 |
| C4 | -2.46490776e-023 |
| C5 | 2.62578515e-028 |
| C6 | 9.94510225e-032 |
| C7 | -1.17559041e-036 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 45

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | -6.79036688e-009 |
| C2 | -4.98113790e-014 |
| C3 | 2.59739233e-018 |
| C4 | -5.22422066e-023 |
| C5 | 1.38345858e-028 |
| C6 | -9.60600374e-033 |
| C7 | 4.93449545e-037 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 46

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | -1.23311338e-009 |
| C2 | 9.47803783e-014 |
| C3 | -6.59387651e-020 |
| C4 | -4.20864177e-023 |
| C5 | -4.65343524e-028 |
| C6 | -7.27238546e-033 |
| C7 | 5.62850375e-037 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

FLAECHE NR. 48

| | |
|----|------------------|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.98238360e-010 |
| C2 | -6.63488568e-014 |
| C3 | 8.08884615e-018 |
| C4 | -1.56791602e-022 |
| C5 | -6.64400102e-029 |
| C6 | 3.42882241e-032 |
| C7 | -1.87278246e-037 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

Patentansprüche

5

1. Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegeben Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:
10 einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und
einer mit Abstand vor der Bildebene angeordneten Systemblende (5) mit einem Blendendurchmesser;
wobei die der Bildebene nächste optische Gruppe mit Brechkraft
15 eine Plankonvexgruppe (34) mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im wesentlichen ebenen Austrittsfläche ist; und
wobei die Plankonvexgruppe (34) einen Durchmesser hat, der mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt.
20
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, bei dem die Plankonvexgruppe durch eine einzige, vorzugsweise einstückige Plankonvexlinse (34) gebildet ist.
- 25 3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3) nur Linsen (32, 33, 34) mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls in Kombination mit mindestens einer planparallelen Platte.
- 30 4. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3), insbesondere zwischen Systemblende und Plankonvexgruppe

(34), mindestens eine bikonvexe Positivlinse angeordnet ist, vorzugsweise zwei bikonvexe Positivlinsen (32, 33).

- 5 5. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) angeordnete letzte Linsengruppe (LG7) maximal vier optische Elemente mit Brechkraft aufweist, vorzugsweise nur drei Linsen (32, 33, 34).
- 10 6. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) angeordnete letzte Linsengruppe eine Brennweite hat, die weniger als 20%, insbesondere weniger als 15% der Baulänge des Projektionsobjektivs beträgt.
- 15 7. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Abstand zwischen der Systemblende und der Bildebene (3) weniger als 25% der Baulänge und/oder weniger als 95% des Blendendurchmesser beträgt.
- 20 8. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem es sich um ein rein refraktives Projektionsobjektiv (1) handelt.
- 25 9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 7, bei dem es sich um ein Ein-Taillen-System mit einem objektnahen Bauch (6), einem bildnahen Bauch (8) und einer dazwischenliegenden Taille (7) handelt.
- 30 10. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das für eine Arbeitswellenlänge von 193nm ausgelegt ist.

11. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem alle transparenten optischen Elemente aus dem gleichen Material gefertigt sind, insbesondere aus synthetischem Quarzglas.
- 5
12. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das eine bildseitige numerische Apertur $NA \geq 0,85$ hat, wobei vorzugsweise $NA \geq 1$ ist.
- 10
13. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein bildseitiger Arbeitsabstand weniger als das Vierfache der Arbeitswellenlänge beträgt, wobei der Arbeitsabstand vorzugsweise kleiner als die Arbeitswellenlänge ist und insbesondere weniger als die Hälfte der Arbeitswellenlänge beträgt.
- 15
14. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Bildfelddurchmesser größer als 10mm, insbesondere größer als 20mm ist und/oder bei dem der Bildfelddurchmesser mehr als 1%, insbesondere mehr als 1,5% der Baulänge des Projektionsobjektivs und/oder mehr als 1%, insbesondere mehr als 5% des größten Linsendurchmessers beträgt.
- 20
15. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) mindestens eine doppelt-asphärische Linse (32) angeordnet ist, die vorzugsweise als Bikonvexlinse ausgebildet ist.
- 25
16. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die letzte optische Fläche vor der Systemblende (5) und
- 30

die erste optische Fläche nach der Systemblende asphärisch sind, vorzugsweise mit von der Blende wegweisenden Krümmungen.

- 5 17. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem Nahbereich vor der Systemblende (5), insbesondere unmittelbar vor der Systemblende, mindestens eine Meniskuslinse (30, 31) mit objektwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist.
- 10 18. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mindestens eine Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgenden Meniskuslinsen (30, 31) mit objektseitigen Konkavflächen im Nahbereich der Systemblende (5), insbesondere unmittelbar vor der Systemblende angeordnet ist.
- 15 19. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Nahbereich vor der Systemblende (5) eine Positiv-Negativ-Meniskengruppe mit zwei Meniskuslinsen (30, 31) angeordnet ist, deren Linsenflächen objektseitig konkav sind.
- 20 20. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Bildebene (3) durch Einschnürung des Strahldurchmessers eine Hilfstaille (9) vorliegt, die vorzugsweise im Nahbereich vor der Systemblende (5)
- 25 21. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) mindestens eine Meniskuslinse (25, 26) mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist.
- 30

22. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) eine Meniskengruppe mindestens zwei Meniskuslinsen (25, 26) mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist, wobei vorzugsweise die Brechkraft des objektseitigen Meniskus dieser Meniskengruppe mindestens 30% größer ist als die Brechkraft einer darauffolgenden Meniskuslinse (26) der Meniskengruppe.
23. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) in der Nähe der Taille mindestens eine Positiv-Meniskuslinse (23, 24) mit objektseitiger Konkavfläche angeordnet ist.
24. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) in dieser Reihenfolge mindestens eine Meniskuslinse (23, 24) mit objektseitiger Konkavfläche und darauffolgend mindestens eine Meniskuslinse (25, 26) mit bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist, wobei vorzugsweise die mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche positive Brechkraft und die mindestens eine Meniskuslinse mit bildseitiger Konkavfläche negative Brechkraft hat.
25. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Bereich der Taille (7) eine Negativgruppe mit mindestens zwei Negativlinsen (20, 21, 22) angeordnet ist, wobei die Negativgruppe vorzugsweise mindestens drei aufeinanderfolgende Negativlinsen aufweist.
26. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine der Objektebene (2) folgende erste Linsengruppe

(LG1) mindestens zwei, vorzugsweise drei oder mehr Negativlinsen (11, 12, 13) aufweist.

- 5 27. Projektionsobjektiv nach Anspruch 26, bei dem in der ersten Linsengruppe (LG1) mindestens eine der auf die Objektebene folgenden ersten vier optischen Flächen asphärisch ist, wobei vorzugsweise in der ersten Linsengruppe mindestens zwei optische Flächen asphärisch sind.
- 10 28. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Bereich großer Strahldurchmesser im Nahbereich der Objektebene (2) mindestens eine Meniskuslinse (16) mit positiver Brechkraft und bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist.
- 15 29. Projektionsobjektiv nach Anspruch 28, bei dem die zur Bildebene gerichtete konvexe Fläche der Meniskuslinse (16) einen Radius hat, der kleiner als 50% der Baulänge des Projektionsobjektivs ist.
- 20 30. Projektionsobjektiv zur obskurationsfreien Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:
einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und
25 einer mit Abstand vor der Bildebene (3) angeordneten Systemblende (5);
wobei zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3) nur Linsen (32, 33, 34) mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls zusätzlich zu mindestens einer planparallelen
30 Platte.

31. Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:
- 5 einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und
- einer mit Abstand vor der Bildebene (3) angeordneten Systemblende (5);
- wobei unmittelbar vor der Systemblende mindestens eine
- 10 Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgender Meniskusslinsen (30, 31) mit objektseitigen Konkavflächen angeordnet ist.
32. Projektionsobjektiv nach Anspruch 31, bei dem die
- 15 Meniskusgruppe eine Positiv-Negativ-Meniskengruppe mit zwei Meniskusslinsen (30, 31) ist, deren Linsenflächen objektseitig konkav sind.

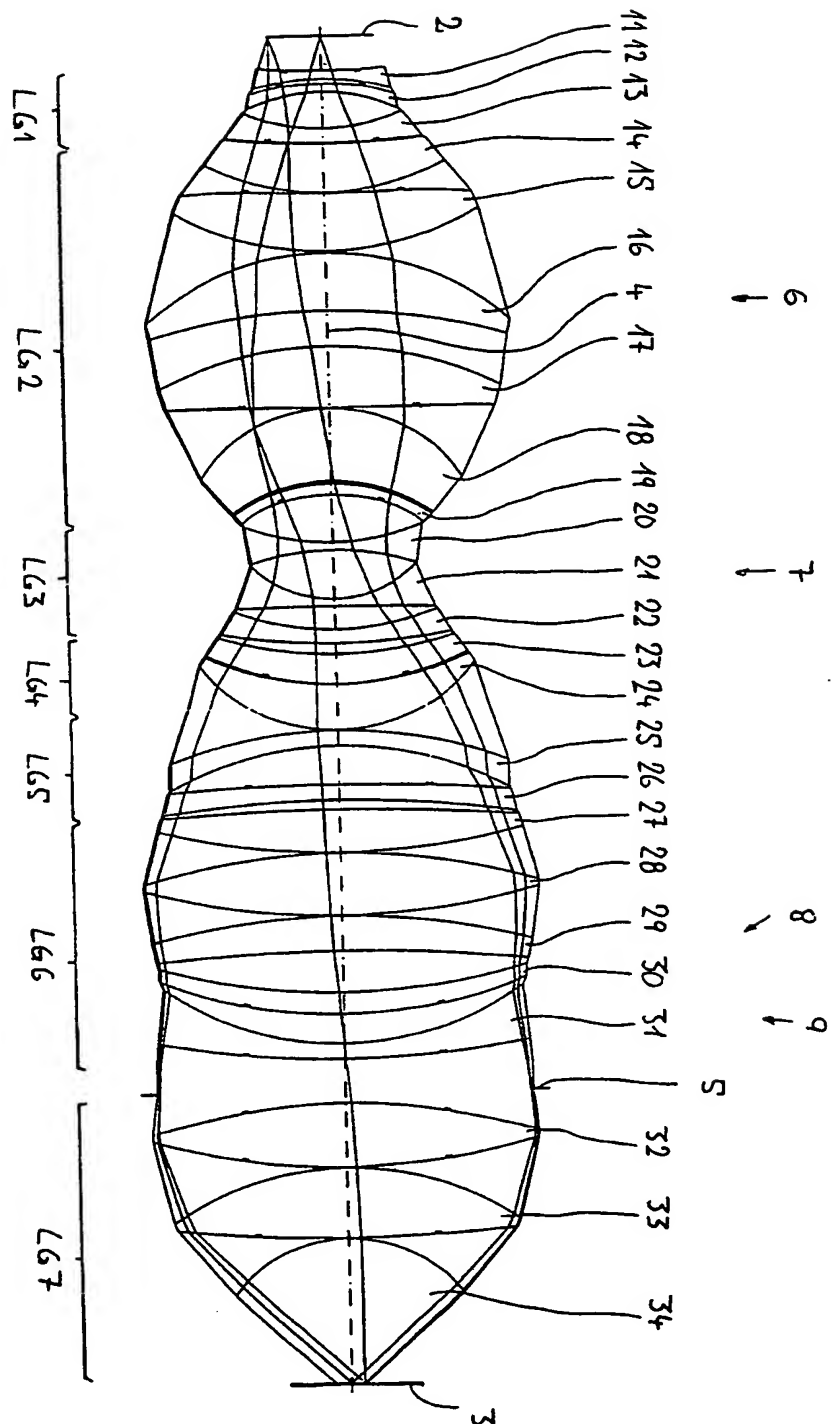


Fig. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 02/04846

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|----------------------------------|
| X | WO 01 51979 A (ZEISS CARL) 19 July 2001 (2001-07-19) figure 3; table 2 | 1,2,4,7 |
| X | WO 01 65296 A (NIPPON KOGAKU KK) 7 September 2001 (2001-09-07) abstract; figure 13; table 1 | 1,2,4 |
| X | US 2002/005938 A1 (OMURA YASUHIRO) 17 January 2002 (2002-01-17) paragraph '0114! - paragraph '0117!; figure 9; table 3 | 1-3, 8-11, 17-21, 25-29 |
| X | EP 1 061 396 A (CANON KK) 20 December 2000 (2000-12-20) abstract; figures 70,73,82 | 30 |
| -/- | | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 January 2003

Date of mailing of the international search report

11 02-03

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patandeen 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Daffner, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 02/04846

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | US 2002/024741 A1 (ISHII HIROYUKI ET AL) 28 February 2002 (2002-02-28) abstract; figures 5,7 | 30 |
| X | US 6 008 884 A (HAYASHI KIYOSHI ET AL) 28 December 1999 (1999-12-28) abstract; figure 2 | 31,32 |
| X | US 5 986 824 A (MERCADO ROMEO I) 16 November 1999 (1999-11-16) abstract; figure 2A | 31,32 |

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely:

1. Claims: 1-29

1.1. Claims: 1-6

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(a) the arrangement of the lenses between the system shutter and the image plane is defined.

1.2. Claims: 7, 8, 9

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(b) the design of the lens is specified as purely refractive and as a one-waist system with a spacing between the system shutter and the image plane which is less than 25% of the overall length.

1.3. Claims: 10-14

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(c) the working wavelength, glass type, numerical aperture, working distance and image field diameter are defined.

1.4. Claims: 15, 16

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(d) between the system shutter and the image plane a lens is made aspherical.

1.5. Claims: 17-19, 21-25

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the shutter diameter, wherein

(e) meniscus lenses are arranged in front of the system shutter or between the waist and the system shutter.

1.6. Claim: 20

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(f) the design is specified as a two-waist system with a waist and an auxiliary waist.

1.7. Claims: 26-29

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(g) the lens groups adjacent to the object plane are defined.

2. Claim: 30

Projection lens for obscuration-free depiction with ultra-violet light, there being arranged between the system shutter and the image plane only lenses having a positive refractive index.

3. Claims: 31, 32

Projection lens, there being arranged directly in front of the system shutter at least one meniscus group having at least two successive meniscus lenses with concave surfaces on the object side.

Please note that all the inventions specified under point 1, though not necessarily linked by a common inventive concept, could be searched in full without entailing effort that would have justified an additional search fee.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/04846

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| WO 0151979 | A | 19-07-2001 | AU 2875301 A | 24-07-2001 |
| | | | WO 0155767 A2 | 02-08-2001 |
| | | | EP 1247132 A2 | 09-10-2002 |
| | | | WO 0151979 A2 | 19-07-2001 |
| | | | US 2002012100 A1 | 31-01-2002 |
| | | | US 2001043391 A1 | 22-11-2001 |
| WO 0165296 | A | 07-09-2001 | EP 1191378 A1 | 27-03-2002 |
| | | | WO 0165296 A1 | 07-09-2001 |
| US 2002005938 | A1 | 17-01-2002 | JP 2001343582 A | 14-12-2001 |
| EP 1061396 | A | 20-12-2000 | JP 2000352666 A | 19-12-2000 |
| | | | JP 2000352667 A | 19-12-2000 |
| | | | JP 2000356742 A | 26-12-2000 |
| | | | JP 2000356743 A | 26-12-2000 |
| | | | EP 1061396 A2 | 20-12-2000 |
| US 2002024741 | A1 | 28-02-2002 | JP 2001228401 A | 24-08-2001 |
| US 6008884 | A | 28-12-1999 | JP 11006957 A | 12-01-1999 |
| | | | DE 19818444 A1 | 29-10-1998 |
| US 5986824 | A | 16-11-1999 | NONE | |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkürzungszeichen
PCT/EP 02/04846

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G03F7/20

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G03F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|----------------------------------|
| X | WO 01 51979 A (ZEISS CARL) 19. Juli 2001 (2001-07-19) Abbildung 3; Tabelle 2 | 1,2,4,7 |
| X | WO 01 65296 A (NIPPON KOGAKU KK) 7. September 2001 (2001-09-07) Zusammenfassung; Abbildung 13; Tabelle 1 | 1,2,4 |
| X | US 2002/005938 A1 (OMURA YASUHIRO) 17. Januar 2002 (2002-01-17) Absatz '0114! - Absatz '0117!; Abbildung 9; Tabelle 3 | 1-3, 8-11, 17-21, 25-29 |
| X | EP 1 061 396 A (CANON KK) 20. Dezember 2000 (2000-12-20) Zusammenfassung; Abbildungen 70,73,82 | 30 |
| | -/- | |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgedr.)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Januar 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

11.02.03

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tz. 31 651 epo nl
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daffner, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkürzungszeichen

PCT/EP 02/04846

| C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|--|---|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | US 2002/024741 A1 (ISHII HIROYUKI ET AL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Zusammenfassung; Abbildungen 5,7 | 30 |
| X | US 6 008 884 A (HAYASHI KIYOSHI ET AL) 28. Dezember 1999 (1999-12-28) Zusammenfassung; Abbildung 2 | 31,32 |
| X | US 5 986 824 A (MERCADO ROMEO I) 16. November 1999 (1999-11-16) Zusammenfassung; Abbildung 2A | 31,32 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 02/04846

Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr. _____
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich _____
2. ☐ Ansprüche Nr. _____
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich _____
3. ☐ Ansprüche Nr. _____
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☒ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr. _____
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen enthalten: _____

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
☒ Die Zahlung zusätzlicher Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-29

1.1. Ansprüche: 1-6

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (a) die Anordnung der Linsen zwischen Systemblende und Bildebene definiert wird.

1.2. Ansprüche: 7,8,9

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (b) die Bauform des Objektivs als rein refraktiv und Ein-Taillensystem festgelegt wird mit einem Abstand zwischen der Systemblende und der Bildebene der weniger als 25 % der Baulänge beträgt.

1.3. Ansprüche: 10-14

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (c) die Arbeitswellenlänge, Glasart, numerische Apertur, Arbeitsabstand und Bildfelddurchmesser definiert werden.

1.4. Ansprüche: 15,16

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (d) zwischen Systemblende und Bildebene eine Linse asphärisiert wird.

1.5. Ansprüche: 17-19,21-25

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (e) vor der Systemblende bzw. zwischen Taille und Systemblende Meniskuslinsen angeordnet sind.

1.6. Anspruch : 20

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei

WEITERE ANGABEN

PCT/SA/ 210

(f) die Bauform als Zwei - Taillen - System mit Taille und Hilfstaille festgelegt wird.

1.7. Ansprüche: 26-29

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (g) die der Objektebene benachbarten Linsengruppen definiert werden.

2. Anspruch : 30

Projektionsobjektiv zur obskurationsfreien Abbildung mit Ultraviolettlicht wobei zwischen der Systemblende und der Bildebene nur Linsen positiver Brechkraft angeordnet sind.

3. Ansprüche: 31,32

Projektionsobjektiv, wobei unmittelbar vor der Systemblende mindestens eine Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgenden Meniskusslinsen mit objektseitigen Konkavflächen angeordnet ist.

Bitte zu beachten daß für alle unter Punkt 1 aufgeführten Erfindungen, obwohl diese nicht unbedingt durch ein gemeinsames erfinderisches Konzept verbunden sind, ohne Mehraufwand der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, eine vollständige Recherche durchgeführt werden konnte.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/04846

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 0151979 A | 19-07-2001 | AU 2875301 A | 24-07-2001 |
| | | WO 0155767 A2 | 02-08-2001 |
| | | EP 1247132 A2 | 09-10-2002 |
| | | WO 0151979 A2 | 19-07-2001 |
| | | US 2002012100 A1 | 31-01-2002 |
| | | US 2001043391 A1 | 22-11-2001 |
| WO 0165296 A | 07-09-2001 | EP 1191378 A1 | 27-03-2002 |
| | | WO 0165296 A1 | 07-09-2001 |
| US 2002005938 A1 | 17-01-2002 | JP 2001343582 A | 14-12-2001 |
| EP 1061396 A | 20-12-2000 | JP 2000352666 A | 19-12-2000 |
| | | JP 2000352667 A | 19-12-2000 |
| | | JP 2000356742 A | 26-12-2000 |
| | | JP 2000356743 A | 26-12-2000 |
| | | EP 1061396 A2 | 20-12-2000 |
| US 2002024741 A1 | 28-02-2002 | JP 2001228401 A | 24-08-2001 |
| US 6008884 A | 28-12-1999 | JP 11006957 A | 12-01-1999 |
| | | DE 19818444 A1 | 29-10-1998 |
| US 5986824 A | 16-11-1999 | KEINE | |